



**Hochschule Mittweida (FH)**  
**University of Applied Sciences**

# **BACHELORARBEIT**

Gao Wei

Konstruktion eines Hochaperturscanners

Design a high Aperture Scanner

2012

## **BACHELORARBEIT**

Konstruktion eines Hochaperturscanners

Design a high Aperture Scanner

Autor

**Gao Wei**

Studiengang:

**Maschinenbau**

Seminargruppe:

**MB07W1-B**

Erstprüfer

**Prof. Dr.-Ing. Werner Totzauer**

Zweitprüfer

**Dipl.-Ing. Jan Drechsel**

Mittweida, November, 2012

# Inhaltverzeichnis

Inhaltverzeichnis.....	I
Verzeichnis der Abkürzungen und Formelzeichen .....	III
Verzeichnis der Abbildungen .....	IV
Verzeichnis der Tabellen .....	VI
Verzeichnis der Anlagen .....	VII
Danksagung .....	VIII
0. Aufgabenstellung zum Konstruktionsprojekt.....	1
1. Einleitung.....	3
2. Grundlagen.....	4
2.1. Laser .....	4
2.1.1. Aufbau des Lasers.....	4
2.1.2. Funktionsweise des Lasers .....	5
2.1.3. Eigenschaften der Laserstrahlung.....	7
2.1.4. Die Anwendung der Laserstrahlung.....	8
2.2. Lasertypen .....	9
2.2.1. Gaslaser .....	9
2.2.2. Festkörperlaser.....	11
2.3. Laserstrahlübertragung .....	12
2.3.1. Linsen, Linsenmaterial und Linsenarten .....	12
2.3.2. Spiegel, Spiegelmaterial und Spiegelarten .....	12
2.3.3. Strahlaufweitung.....	14
2.3.4. Strahlführung.....	15
2.3.5. Strahlfokussierung.....	17
3. Funktionsbeschreibung und Auswahl des 2D-Ablenkungs- system .....	19
3.1. Vergleich mit vorgeschlagene Lösungen .....	19
3.1.1. 2D-Laserstrahl Ablenkeinheit.....	19
3.1.2. 3D-Laserstrahl-Subsystem .....	20

3.2.	F-Theta-Linse.....	21
4.	Konstruktion und thermische Simulation für einen 2D-Scannerantriebs .....	23
4.1.	Konstruktion des Gehäuses .....	23
4.1.1.	Auswahl des Rohmaterials .....	23
4.1.2.	Beschreibung der wichtigsten Platten.....	24
4.2.	Konstruktion der Scannerbefestigung .....	31
4.2.1.	Auswahl der Scannerantriebe .....	31
4.2.2.	Befestigung der Scannerantriebe .....	33
4.3.	Einfluss der Kühlung der Spiegel und Galvoantriebe .....	34
4.4.	Temperierung des Gehäuses .....	36
5.	Der Konstruktive Aufbau im Rahmen eines 3D-Modells.....	38
6.	Zusammenfassung.....	39

Literaturverzeichnis .....	X
Eigenständigkeitserklärung .....	XI
Anlagen .....	XII

## Verzeichnis der Abkürzungen und Formelzeichen

d	Abstand
E	Das elektrische Feld
FEL	Freie-Elektronen-Laser
f	Strahlungsfrequenz
f	Brennwert
$\lambda$	Wellenlänge
L	Linse
$P = \frac{\tau}{d} * A * (T_{W_1} - T_{W_2})$	
$T_{W_1}$	die Temperatur der wärmeren Wandoberfläche
$T_{W_2}$	die Temperatur der kälteren Wandoberfläche
A	die Fläche, durch die die Wärme strömt
$\tau$	die Wärmeleitfähigkeit
d	die Dicke des Körpers
$P = \epsilon * \delta * A * T^4$	
P	Wärmestrahlungsleistung bzw Wärmestrom
$\epsilon$	Emissionsgrad, die Werte liegen zwischen 0 und 1
$\delta$	Stefan-Boltzmann-Konstante
A	Oberfläche des abstrahlenden Körpers
T	Temperatur des abstrahlenden Körpers
$T_V = \rho * c_p * \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} * \left( k_{xx} * \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} * k_{yy} * \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \vec{q}$	
$\rho$	Dichte
$c_p$	spezifische Wärme
$k_{xx}, k_{yy}$	thermische Leitfähigkeit
$\vec{q}$	Wärmeerzeugungssake

## Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1. Schematischer Aufbau eines Lasers .....	5
Abbildung 2. Wirkungsprinzip der Lichtverstärkung .....	6
Abbildung 3. Gaslaser.....	10
Abbildung 4. Festkörperlaser .....	11
Abbildung 5. Linsenarten .....	12
Abbildung 6. Ebener Spiegel .....	13
Abbildung 7. Konvexer Spiegel.....	14
Abbildung 8. Konkaver Spiegel.....	14
Abbildung 9. Strahlaufweitung im Teleskop .....	15
Abbildung 10. Flexible Laserlichtkabel führen den Laserstrahl von der Strahlquelle zum Bearbeitungsort.....	16
Abbildung 11. Der Laserstrahl des Festkörpers wird meist im Laserlichtkabel zur Arbeitsstation geleitet .....	16
Abbildung 12. Der Laserstrahl des CO <sub>2</sub> –Laser wird immer mit Spiegel geleitet.....	17
Abbildung 13. Schema der Strahlfokussierung mittels Linse-und Spiegeloptiken.....	18
Abbildung 14. Funktionsprinzip 2D-Laserstrahl-Ablenkeinheit.....	19
Abbildung 15. Funktionsprinzip des 3D-Laserstrahl-Subsystem.....	20
Abbildung 16. Feldverzerrung mit und ohne F-Theta-Objektiv.....	21
Abbildung 17. Die Gestaltung des F-Theta-Objektiv .....	22
Abbildung 18. Grundplatte des Gehäuses .....	25
Abbildung 19. Linksseitenplatte des Gehäuses .....	26
Abbildung 20. Stecker warden an dem Gehäuse vorgesehen .....	27
Abbildung 21. Die Darstellung der Platte 7 .....	27
Abbildung 22. Rechtsseitenplatte des Gehäuses .....	28
Abbildung 23. Distanzbolzen .....	29

Abbildung 24. Frontseitenplatte des Gehäuses .....	30
Abbildung 25. Beschreibung der Flanschgröße .....	30
Abbildung 26. Scannerantrieb 1. ....	32
Abbildung 27. Scannerantrieb 2. ....	32
Abbildung 28. Motorklammer .....	33
Abbildung 29. Luftdüse mit Außengewinde.....	34
Abbildung 30. Installierung der Wasserkreislaufvorrichtung und Luftdüse mit dem Gehäuse .....	35
Abbildung 31. Wirkung des Fourierschen Gesetzes .....	36
Abbildung 32. Komponenten des 3D-Modells.....	38

## Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1. Anwendung der Laserstrahlung .....	8
Tabelle 2. Zusammenstellung verschiedener Gruppen von Lasertypen.....	9
Tabelle 3. Vorteile und Nachteile der beiden Materialien .....	24
Tabelle 4. Spiegelspezifikationen der Spiegeln .....	31



## Verzeichnis der Anlagen

Anlage 1. Stücklist

Anlage 2. Bestellvorlage

Anlage 3. Zeichnungsunterlagen

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich für die sehr Betreuung bei der Nachprüfung und Nachbesserung des Verzeichnisses dieser Bachelorarbeit und bei der Empfehlung einiger wichtigen Literaturen bei Prof. Dr.-Ing. Werner Totzauer und Dipl.-Ing. Jan Drechsel bedanken.

Zum Abschluss möchte ich mich noch bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, die mich während dieser Zeit unterstützt und motiviert haben.

# 0. Aufgabenstellung zum Konstruktionsprojekt

## **Thema:**

Konstruktion eines Hochaperturscanners

## **Beschreibung:**

Zielstellung der Arbeit ist die Entwicklung einer schnellen Strahlablenkeinheit (Scanner) für Laserstrahlung hoher Brillanz und Strahlleistungen bis 10 kW (optional 15 kW) auf Basis von Galvoantrieb (Fa. Raylase). Als Laserstrahlquelle ist zunächst ein 3 kW Monomode Faserlaser (=1070 nm) vorgesehen.

Dazu sollen Entwürfe sowie ein Konstruktionsvorschlag erarbeitet werden, der später (nicht zu dieser Arbeit gehörend) zu einem prototypischen Aufbau umgesetzt werden kann.

Hierzu sind die Komponenten im Bezug auf die technische Realisierung und eine exakte Justage der Komponenten auszuwählen. Ein Galvoantrieb ist bereits vorhanden.

Zur Kühlung ist eine Luftkühlung über die Rückseite der Galvospiegel zur Verringerung des Fokusshifts des Laserstrahls vorzusehen (Simulation, Strömungsoptimierung und konstruktive Umsetzung).

Vorgaben für die Konstruktive Lösung sind:

- Apertur (freier Laserstrahldurchgang): 50 mm
- Verwendung von Galvoantrieben der Firma Raylase

- Laserleistung minimal 10 kW (optimal bis 15 kW)
- Laserstrahlzuführung über einen kollimierten Freistrah

Kaufkomponenten sind

- F-Theta-Optik (Fokussierlinsensystem) mit einer Brennweite der Optik von  $f = ?$
- Galvoantriebe der Fa. Raylase
- Spiegel
- Kleinteile (z.B. Stecker, Normteile usw.)

Es werden folgende eigene Arbeiten erwartet:

- Auslegung der Spiegel (Größe, konstruktive Gestaltung)
- Konstruktion des Gehäuses
- Konstruktion der Scannerbefestigung
- konstruktive Umsetzung der Kühlung der Spiegel bzw. Galvoantriebe
- Temperierung des Gehäuses
- Position des elektrischen und des Luftanschlusses
- Befestigung der Zuführung des Laserstrahles

# 1. Einleitung

Das Laserinstitut Mittelsachsen e.V ist ein Institut der Hochschule Mittweida und bearbeitet vorrangig Forschung-und Entwicklungsthemen sowie Laserapplikation für die Industrie.

Die Forschung zum Einsatz der Lasertechnik in der Materialbearbeitung hat am Laserinstitut der Hochschule Mittweida eine fast 40 jährige Tradition.

Im Rahmen eines solchen Forschungsprojektes soll eine Hochaperturscanner entworfen und konstruiert werden.

Mit der 2-Achsen-Ablenkeinheit kann ein Laserstrahl in X- und Y-Richtungen abgelenkt werden. Dadurch entsteht ein zweidimensionaler Bereich, in dem der Laser an jeden beliebigen Punkt gelenkt werden kann. Dieser Bereich wird als "Markierfeld" bezeichnet und ist im Diagramm dargestellt. Die Ablenkung erfolgt durch zwei Spiegel, die von je einem Galvanometer-Scanner bewegt werden. Die Ablenkeinheit hat eine Eintrittsöffnung, in die der Laserstrahl eingekoppelt wird, und eine Austrittsöffnung, durch die der Laser nach der Ablenkung wieder aus der Ablenkeinheit austritt. In die Eintrittsöffnung dürfen nur geeignete Laser eingekoppelt werden. Je nach Lasertyp ist die Austrittsöffnung entweder offen oder mit einem F-Theta-Objektiv oder einem Schutzglas versehen.

Die Spiegeln, Objektive und Schutzgläser sind für CO<sub>2</sub>- und Nd:YAG-Laserstrahlquellen verfügbar. Der Hochaperturscanner ist ein Spiegelstellsystem. Es koppelt das Laserlicht des Lasers je nach Anforderung in eine der Fasern ein. Damit kann dieselbe Strahlquelle in verschiedenen Anlagen für unterschiedliche Aufgaben eingesetzt werden.

## 2. Grundlagen

### 2.1. Laser

Laser ist ein physikalischer Effekt, mit dem künstlich gerichtete Lichtstrahlen erzeugt werden können. Der Begriff Laser wird dabei nicht nur für den Verstärkungseffekt, sondern auch für die Strahlquelle verwendet. Der Begriff Laser ist ein Kunstwort und steht für die Abkürzung:

**Laser=Light Amplification by Simulated Emission of Radiation.** In die deutsche Sprache übersetzt heißt dies "Licht Verstärkung durch angeregte Aussendung von Strahlung".

#### 2.1.1. Aufbau des Lasers

Die wesentlichen Bestandteile eines Lasers sind eine externe Energiequelle, ein Verstärkermedium und ein Resonator. Wird ein Medium, in dem eine Besetzungsinversion herrscht, mittels zweier Spiegel so angeordnet, dass Photonen stets eine induzierte Emission auslösen, wird von einem optischen Resonator gesprochen. Das Zuführen externer Energie, auch als Pumpen bezeichnet, erzeugt eine Besetzungsinversion im Lasermedium und wird mittels optischer und elektrischer Verfahren erreicht. Für einen Gaslaser benutzt man eine elektrische Entladung als Pumpe.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> TRADOWSKY, KLAUS : „Laser“, Vogel Verlag, Auflage 4, 2009

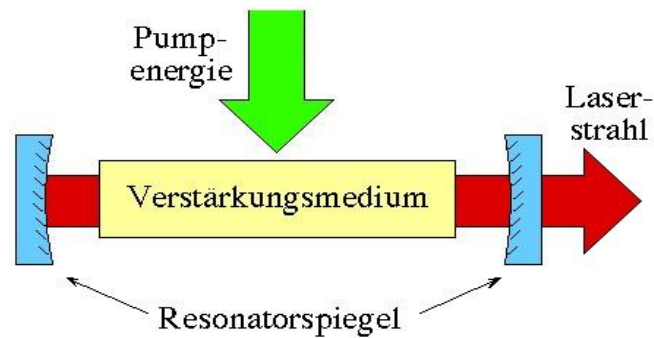


Abbildung 1. Schematischer Aufbau eines Lasers<sup>2</sup>

Als Lasermedium werden sowohl gasförmige (Kohlendioxid, Stickstoff, Helium-Neon Gemische), flüssige (Lösungen organischer Farbstoffmoleküle) als auch feste Stoffe (Rubinkristalle, Halbleiter) verwendet. Durch ihr spezielles Energieniveau wird die Wellenlänge der Laserstrahlung bestimmt.

Das Lasermedium befindet sich in einem Resonator, ist also zwischen zwei Plan-oder gekrümmten Spiegeln eingeschlossen. Die Photonen laufen zwischen den Spiegeln hin und her, wodurch im Medium ständig Lichtaussendungen erfolgen und hierdurch den Strahl verstärken.

### 2.1.2. Funktionsweise des Lasers

Mittels Energiezufuhr ist es möglich die Elektronen eines Moleküls oder eines einzelnen Atoms auf ein energetisch höheres Niveau zu bringen. Das Elektron befindet sich dann in einem angeregten Zustand. Dieser angeregte Zustand besteht aber nur für ein Billionstel einer Sekunde. Elektronen streben stets, physikalischen Gesetzen folgend, das niedrigere Energieniveau an. Beim Rückfall auf den Grundzustand wird Energie freigesetzt. Dies geschieht in Form einer elektromagnetischen Strahlung und wird auch spontane Emission genannt. Dieser Vorgang findet ohne Einwirkung von Fremdelektronen statt. Diese emittierte elektromagnetische Strahlung entspricht im Betrag exakt der

<sup>2</sup> [www.iap.uni-bonn.de/dunkel/LaserAufbau.gif](http://www.iap.uni-bonn.de/dunkel/LaserAufbau.gif)

eingesetzten Energiemenge. Es entstehen also keinerlei Energieverluste.<sup>3</sup>

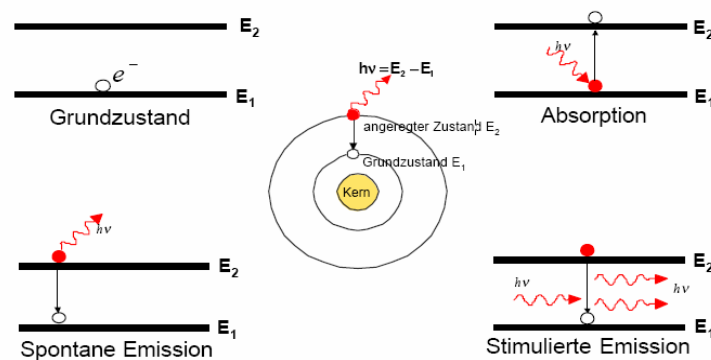


Abbildung 2. Wirkungsprinzip der Lichtverstärkung<sup>4</sup>

Das freigesetzte Photon breitet sich im jeweiligen Medium aus, wobei es zu Zusammenstößen mit Elektronen kommt. Liegt das Elektron in angeregtem Zustand vor. Wird es absorbiert. Durch diese Absorption wird eine frühzeitige Entladung ausgelöst und zwei Photonen freigesetzt. Dieser Vorgang wird als induzierte bzw. stimulierte Emission bezeichnet, da die Lichtaussendung durch ein Fremdphoton ausgelöst wurde. Das Besondere bei diesem Vorgang ist jedoch, dass die emittierten Photonen über dieselbe Wellenlänge und Phasenlage verfügen wie das die Absorption auslösende Photon.<sup>5</sup>

Die induzierte Emission benötigt im Gegensatz zur spontanen Emission ein angeregtes Medium, also ein Medium mit einer größeren Menge an Elektronen im angeregten Zustand als einfache Elektronen. Dieser Zustand wird als Besetzungsinversion bezeichnet und ist eine notwendige Bedingung bei der Umsetzung einer Lichtverstärkung.

Wird nun ein Photon in ein Medium gelenkt, in dem eine Besetzungsinversion herrscht, so findet eine Kettenreaktion statt. Nacheinander finden induzierte

<sup>3</sup> [http://mata.gia.rwth-aachen.de/Vortraege/Benno\\_Willemsen/Laser/Skript.pdf](http://mata.gia.rwth-aachen.de/Vortraege/Benno_Willemsen/Laser/Skript.pdf)

<sup>4</sup> TRADOWSKY, KLAUS : „Laser“, Vogel Verlag, Auflage 4, 2009

<sup>5</sup> [http://mata.gia.rwth-aachen.de/Vortraege/Benno\\_Willemsen/Laser/Skript.pdf](http://mata.gia.rwth-aachen.de/Vortraege/Benno_Willemsen/Laser/Skript.pdf).



Emissionen statt. Die Eigenschaft, dass die emittierten Photonen dieselbe Wellenlänge und Phasenlage haben, führt dazu, dass im Medium befindlicher Lichtbündel kontinuierlich verstärkt wird.

### 2.1.3. Eigenschaften der Laserstrahlung

Laserstrahlung entsteht durch eine Lichtverstärkung auf atomarer Ebene. Es handelt sich bei Laserlicht um kohärentes Licht, das einfarbig (monochromatisch) ist und aus einem nahezu parallelen Lichtbündel besteht.

- **Kohärent**, also zusammenhängend : Die elektromagnetischen Wellen schwingen in Phase
- **Monochromatisch**, also einfarbig: Sie besteht aus einer einzigen, genau definierten Wellenlänge und Frequenz.
- **Nahezu parallel**, also kaum divergent: Erst mit größerer Entfernung weitet sich die Strahlung zunehmend auf.<sup>6</sup>

Laserstrahlung genau wie konventionelle Lichtquellen elektromagnetische Wellen aus, die gleiche Wellentypen also, wie sie bei Funk, Fernsehen und Radar verwendet wird. Sie unterscheiden sich lediglich in Strahlungsfrequenz bzw. Wellenlänge. Der Zusammenhang zwischen  $f$  und  $\lambda$  lautet:  $\lambda \cdot f = c$ . Die Laserstrahlung wird oft allgemein als Laserlicht bezeichnet.

Ein weiteres wichtiges charakteristisches Merkmal ist die minimale Divergenz. Diese ist ein Maß für die Richtungscharakteristik des Strahlenbündels sowie das Aufweiten des Teilchenstrahles in der Beschleunigerphysik. Mit einer minimalen Divergenz kann mit Hilfe von optischen Elementen eine hohe Fokussierung erreicht werden.

---

<sup>6</sup> TRUMPF Laser und Systemtechnik GmbH.

#### 2.1.4. Die Anwendung der Laserstrahlung

Die Anwendung der Laserstrahlung wird in der nachfolgenden Tabelle 1 gezeigt.

Anwendungsbereich	Beispiel
<b>Materialbearbeitung</b>	Fertigungstechnik: <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Laserschneiden</li><li>➤ Laserbohren</li><li>➤ Abtragen</li><li>➤ Lasertrimmen</li><li>➤ Laserstrahlschweißen</li><li>➤ Beschichten</li></ul>
<b>Medizin</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Augenheilkunde → Abtragen der Hornhautoberfläche</li><li>➤ Allgemeinmedizin → Messung von Blutströmen</li><li>➤ Gefäßchirurgie → Behandlung von Krampfadern</li><li>➤ Zahnmedizin → Lippenbändchenentfernung</li></ul>
<b>Messtechnik</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Tunnelbau</li><li>➤ Brandmelder</li><li>➤ Meteorologie → Wolkenhöhenmesser</li></ul>
<b>Datentechnik</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Laserdruck</li><li>➤ DVD-/ CD Player</li></ul>
<b>Wissenschaft</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Laserspektroskopie → Bestimmung des Energieniveaus</li><li>➤ Zellbiologie → optische Pinzette</li><li>➤ Plasmaerhitzung im Fusionsreaktor</li></ul>

Tabelle 1. Anwendung der Laserstrahlung

## 2.2. Lasertypen

Es gibt eine Vielzahl von Lasern mit sehr unterschiedlichen Eigenschaften. Sie lassen sich nach der Art des Laseraktives Mediums gruppieren:

- Gaslaser
- Festkörperlaser
- Halbleiterlaser
- Freie-Elektronenlaser\

In der folgenden Tabelle 2 wird 2 typische Eigenschaften dieser Lasertypen gibt.

Lasertypen	Aktives Medium	Typ, Länge	Anregung	Wellenlänge
Gaslaser	Edelgase,	1 m	Gasentladung,	0,1-100 $\mu\text{m}$
	Molekülgase		Chemische	
	Metalldämpfe		Anregung	
Festkörperlaser	Dotierte	0.1 m	Blitzlampen,	0,3-2,8 $\mu\text{m}$
	Kristalle, Polymere		Bogenlampen,	
	und Gläser		Halbleiterlaser	

Tabelle 2. Zusammenstellung verschiedener Gruppen von Lasertypen<sup>7</sup>

### 2.2.1. Gaslaser

“Autor Timur Kurnaz” beschreibt die Beschaffenheit eines Gaslasers wie folgt: Bei Gaslasern ist das aktive Material ein Gas oder ein Dampf. Durch Kombination mehrerer Gase wird eine Arbeitsteilung zwischen Absorption und Emission erreicht; mit dieser Methode können sehr viele Stoffe lasern.

<sup>7</sup> G.Litfin, „Technische Optik in der Praxis“, Springer Verlag, Auflage 3, 1997

Gaslaser werden eingeteilt in Atom-, Excimer-, Ionen- und Moleküllaser.

Das Lasermedium eines Gaslasers kann ein reines Gas, ein Gasgemisch oder Metalldampf sein und befindet sich zu diesem Zweck in einem zylindrischen Gefäß aus Glas oder einem Quarzrohr. Die zwei Spiegel, die den Resonator bilden, sind außerhalb dieses Gefäßes angebracht. Gaslaser werden mit UV-Licht, Elektronenstrahlen, elektrischem Strom oder über chemische Reaktionen gepumpt.

Durch in die Röhre eingeschmolzene Elektroden, die an Hochspannung angeschlossen sind, fließt ein elektrischer Strom, der die Gasatome in der Röhre anstößt. Dadurch lädt er sie mit Energie auf, wobei es durch den Rückfall auf das ursprüngliche Energieniveau zur Abgabe vom Lichtquant kommt. Die Teilchen werden an den Stirnflächen reflektiert und treten an der teilverspiegelten Fläche als Lichtwelle aus. Die Röhren können sich so stark erwärmen, dass sie zerstört werden. Darum müssen diese Geräte sehr stark und aufwendig gekühlt werden.<sup>8</sup>

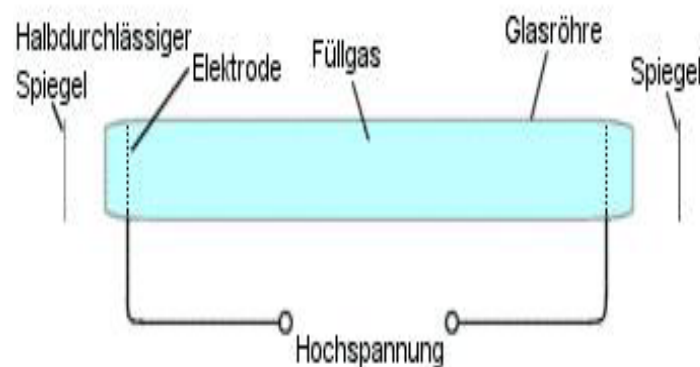


Abbildung 3. Gaslaser<sup>9</sup>

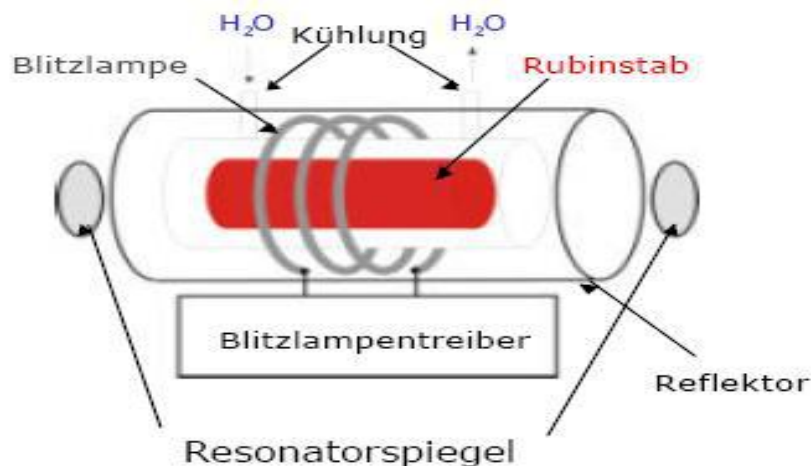
<sup>8</sup> [http://mata.gia.rwth-aachen.de/Vortraege/Benno\\_Willemsen/Laser/Skript.pdf](http://mata.gia.rwth-aachen.de/Vortraege/Benno_Willemsen/Laser/Skript.pdf).

<sup>9</sup> TRADOWSKY, KLAUS : „Laser“, Vogel Verlag, Auflage 4, 2009

### 2.2.2. Festkörperlaser

“Autor Timur Kurnaz” beschreibt die Beschaffenheit eines Festkörperlasers wie folgt: Festkörperlaser bieten die höchste Leistungsausbeute. Die gebräuchlichsten Festkörperlasermedien sind Stäbe aus kristallinem Rubin oder Neodym enthaltenden Gläsern oder Kristallen. Die Hauptbestandteile eines Rubinlasers sind ein Rubinstab und ein Resonator. Die Enden eines solchen Stabes sind als zwei parallele Flächen ausgeführt und mit einem hochreflektierenden nichtmetallischen Spiegelbelag versehen.

Festkörperlasern lassen sich ausschließlich durch Licht anregen. Die Wellenlänge der Pumpstrahlung muss kürzer sein als die Laserwellenlänge. Blitzlampe arbeiten ähnlich wie die Elektronenblitzgeräte der Fotografie, allerdings mit wesentlich höherer Leistung. Die Resonatorspiegel werden häufig direkt auf die entsprechend geschliffenen Stabenden aufgedampft



. Abbildung 4. Festkörperlaser<sup>10</sup>

<sup>10</sup> TRADOWSKY, KLAUS : „Laser“, Vogel Verlag, Auflage 4, 2009

## 2.3. Laserstrahlübertragung

### 2.3.1. Linsen, Linsenmaterial und Linsenarten

Als Linse wird bezeichnet ein optisch wirksames Bauelement mit zwei lichtbrechenden Flächen, von denen mindestens eine Fläche konvex oder konkav gewölbt ist. Die wichtigste Eigenschaft einer Linse oder eines Linsensystems ist die optische Abbildung. Die wesentlichste Größe einer Linse ist die Brennweite, d.h. der Abstand von Brennpunkt bzw. Brennebene zur Linse. Der Kehrwert der Brennweite wird als Brechwert angegeben. Als Linsenmaterial sind für sichtbares Licht transparente Stoffe, wie Glas, Kristalle und einige Kunststoffe geeignet.

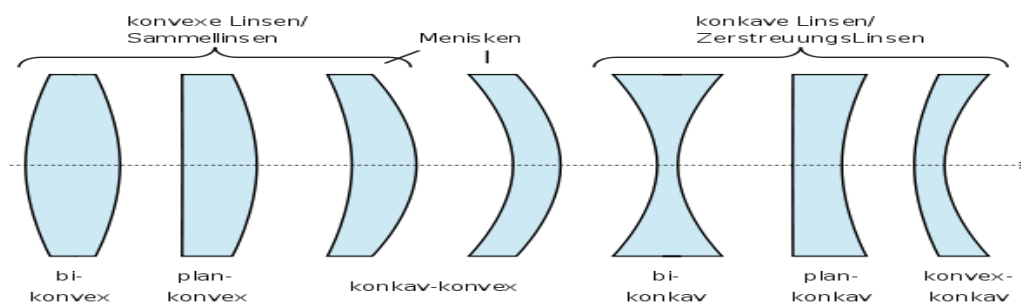


Abbildung 5. Linsenarten<sup>11</sup>

### 2.3.2. Spiegel, Spiegelmaterial und Spiegelarten

Ein Spiegel ist eine reflektierende Fläche, Sie sind glatt genug, wodurch reflektiertes Licht nach dem Reflexionsgesetz seine Parallelität behält und somit ein Abbild entstehen kann. Die Rauheit der Spiegelfläche muss dafür kleiner sein als etwa die halbe Wellenlänge des Lichts. Auch nicht sichtbare elektromagnetische Wellen und Schallwellen können an geeigneten Flächen gespiegelt werden.

<sup>11</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Linsenarten.svg>.

„Autor Treiber“ beschreibt das Problem wie folgt: In der Lasertechnik finden Metallspiegel und Interferenzspiegel Verwendung. Metall-Oberflächenspiegel bestehen aus einem Träger, auf den im Hochvakuum Metall und meist noch eine Schutzschicht aufgedampft werden. Als Träger dient Glas oder Glaskeramik, deren Wärmeausdehnungskoeffizient verschwindend klein ist. Die Metallsorte hängt vom Wellenlängenbereich ab, in dem der Spiegel eingesetzt werden soll, da der Reflexionsgrad eine Funktion des Wellenlängenbereiches ist, in dem der Spiegel eingesetzt werden soll, da der Reflexionsgrad eine Funktion der Wellenlänge des Lichtes ist. Silber und Aluminium sind für den gesamten sichtbaren Spektralbereich geeignet; dort reflektieren sie 89% bis 96%.<sup>12</sup> Interferenzspiegel haben wesentlich höhere Reflexionsgrade als Metallspiegel. Die Abhängigkeit dieses Wertes von Wellenlänge und Einfallswinkel ist jedoch weit größer.

Es gibt verschiedene Arten von Spiegeln:

- Ebener Spiegel (Planspiegel)
- Konvexer Spiegel (Wölbspiegel)
- Konkaver Spiegel (Brennspiegel/Hohlspiegel)

Am ebenen Spiegel wird der Lichtstrahl im gleichen Winkel wie der einfallende Strahl wieder reflektiert (Abbildung 6).

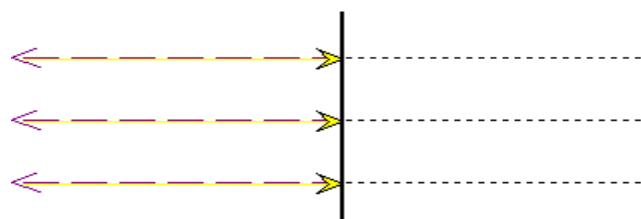


Abbildung 6. Ebener Spiegel<sup>13</sup>

<sup>12</sup> Hanskar, Treiber, „Lasertechnik“, Frech Verlag, Auflage 1, 1982

<sup>13</sup> [http://hausnawi.at/bad/spiegel/html/ebener\\_sp.html](http://hausnawi.at/bad/spiegel/html/ebener_sp.html).

Im Gegensatz zum ebenen Spiegel (Abbildung 6) wird der Lichtstrahl am konvexen Spiegel an der Wölbung im gleichen Winkel wie der einfallende Strahl wieder reflektiert (Abbildung 7).

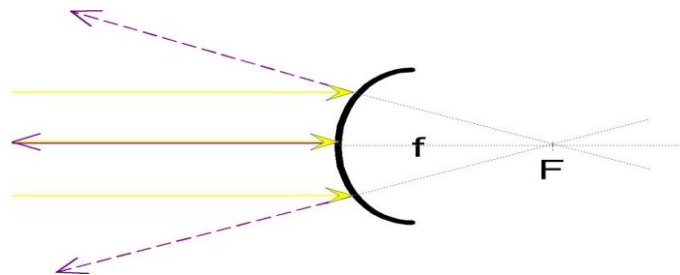


Abbildung 7. Konvexer Spiegel<sup>14</sup>

Am konkaven Spiegel wird der Lichtstrahl an der Wölbung im gleichen Winkel wie der einfallende Strahl wieder reflektiert (Abbildung 8).

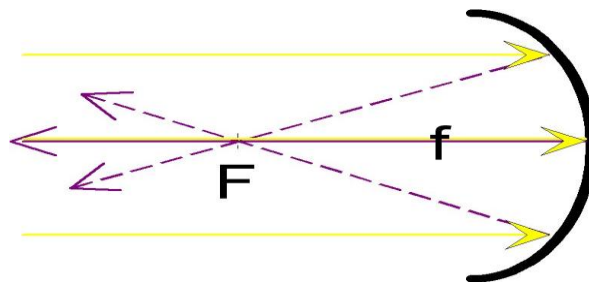


Abbildung 8. Konkaver Spiegel<sup>15</sup>

### 2.3.3. Strahlaufweitung

In den meisten Laseranlagen zur Materialbearbeitung ist am Ausgang des Lasergerätes eine Vorrichtung zur Strahlaufweitung in den Strahlengang eingebaut. Durch Strahlaufweitung kann ein Laserstrahl kollimiert, d.h. seine Divergenz reduziert werden. Die Strahlaufweitung wird zweckmäßigerweise

<sup>14</sup> [http://hausnawi.at/bad/spiegel/html/konvexer\\_sp.html](http://hausnawi.at/bad/spiegel/html/konvexer_sp.html).

<sup>15</sup> [http://hausnawi.at/bad/spiegel/html/konkaver\\_sp.html](http://hausnawi.at/bad/spiegel/html/konkaver_sp.html).



mit einem Teleskop durchgeführt. Wird des Teleskops so eingestellt, dass an seiner Austrittslinse eine Strahltaile liegt, so ergibt sich folgende Aussage: Die Divergenz wird um den Aufweitungsfaktor des Teleskops reduziert.

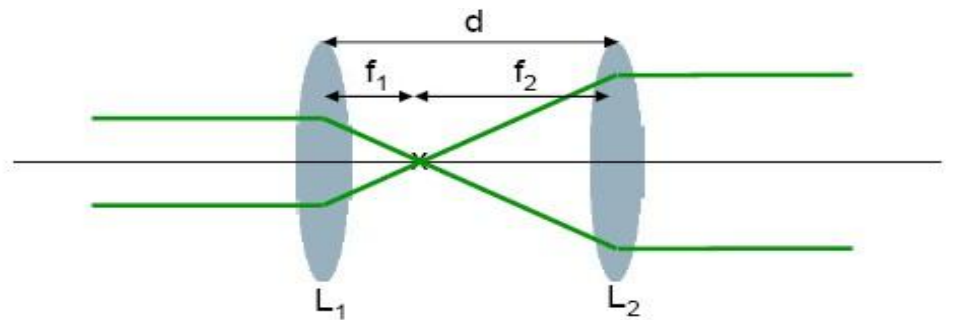


Abbildung 9. Strahlaufweitung im Teleskop<sup>16</sup>

#### 2.3.4. Strahlführung

Das über einen teildurchlässigen Spiegel aus dem Resonator ausgekoppelte kohärente Laserlicht muss, um es als Werkzeug zur Materialbearbeitung einsetzen zu können, zur Fokussieroptik im Bearbeitungskopf weitergeleitet und hierbei in 2D- und 3D-Laseranlagen umgelenkt werden.

Die Wellenlänge eines Festkörperlaser von  $1,06 \mu\text{m}$  ermöglicht die Laserstrahlführung außer über Spiegel auch durch Lichtwellenleiter mit Glasfaserkern. Der Einsatz dieser Flexiblen Lichtleitkabel macht den Festkörperlaser zu einem Werkzeug, das sich der Kinematik eines Bewegungsautomaten anpasst. Die Übertragung von Laserstrahlung über Lichtkabel ist allerdings mit einem Leistungsverlust von je 4% für Ein- und Auskopplung behaftet.<sup>17</sup>

<sup>16</sup> J.Eichler, H.J.Eichler, „Laser Bauformen, Strahlführung, Anwendungen“, Springer Vorlag, Auflage 7, 2010

<sup>17</sup> Erhardt, Heine, „Prommersberger Laser in der Materialbearbeitung“, Vogel Vorlag, Auflage 1, 1993.

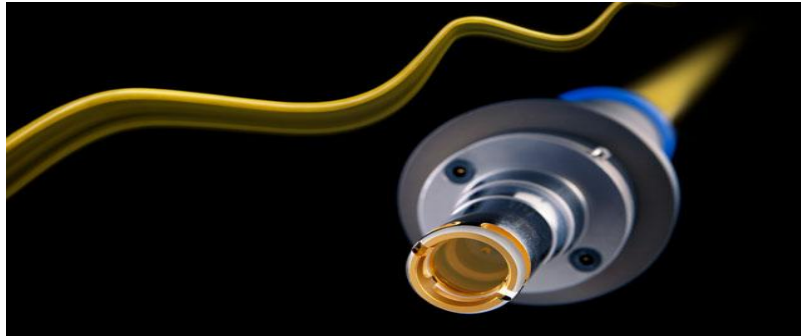


Abbildung 10. Flexible Laserlichtkabel führen den Laserstrahl von der Strahlquelle zum  
Bearbeitungsort<sup>18</sup>

Die Wellenlänge des CO<sub>2</sub>–Laserlicht von 10,6 µm erlaubt keine Strahlführung durch Lichtwellenleiter, sondern macht eine Strahlführung über Spiegel notwendig. Die Strahlführung über Spiegel erfordert höchste Präzision, da der Laserstrahl auch nach vielfache Umlenkung und abschließender Fokussierung z.B.: Beim Schneiden und Schweißen noch durch eine Düse mit einem Durchmesser von etwa 1mm passen muss.

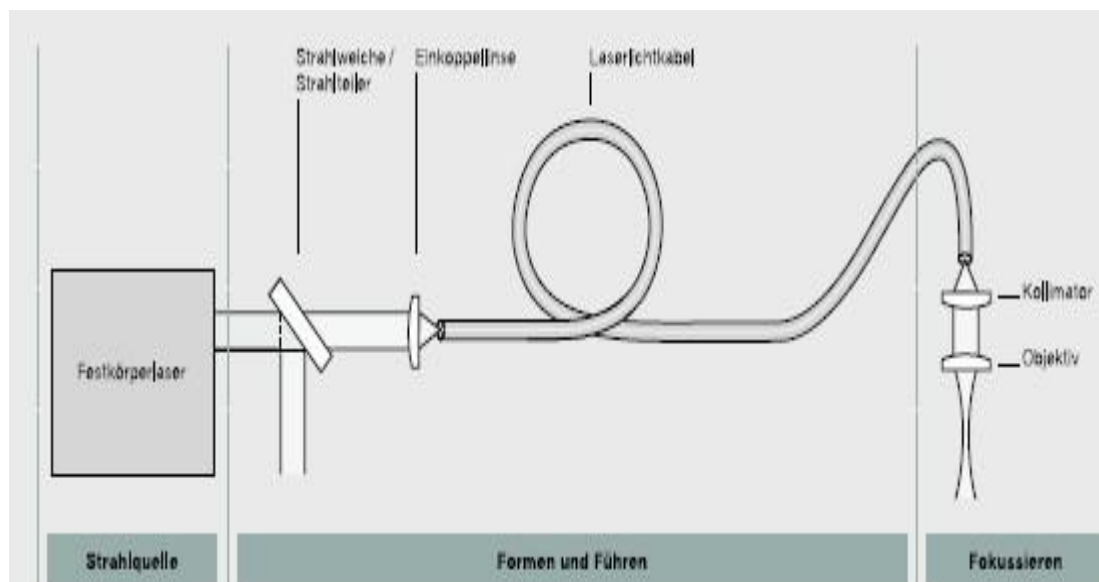


Abbildung 11. Der Laserstrahl des Festkörpers wird meist im Laserlichtkabel zur Arbeitsstation  
geleitet<sup>19</sup>

<sup>18</sup> Vgl. TRUMPF AG

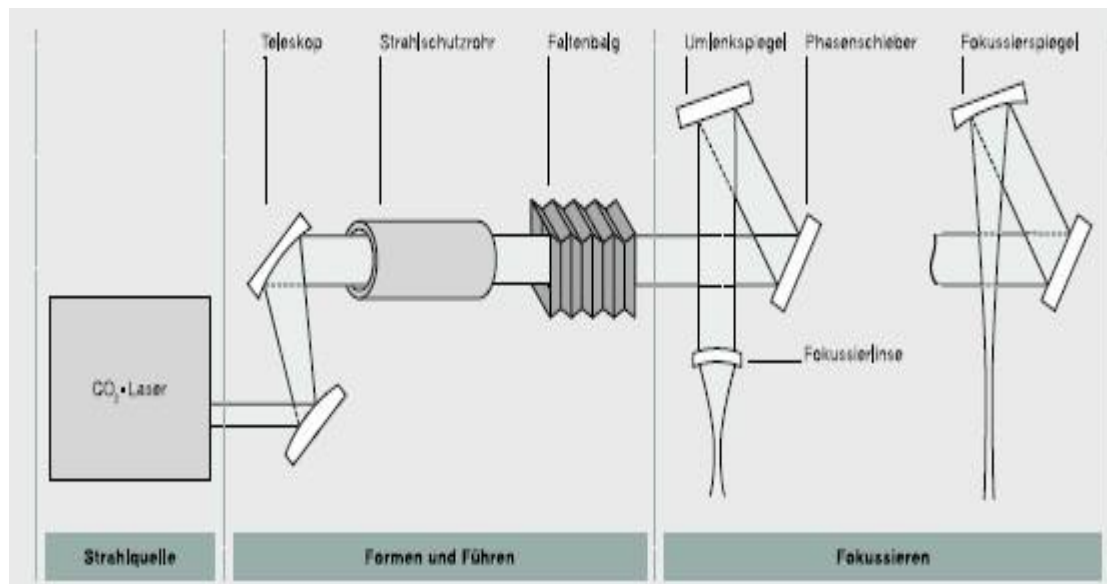


Abbildung 12. Der Laserstrahl des CO<sub>2</sub>-Laser wird immer mit Spiegel geleitet<sup>20</sup>

Bei der Strahlführung mit bewegten Spiegeln ist zu unterscheiden zwischen Spiegellängsverschiebung und Rotation der Umlenkspiegel. Die Rotation der drehbar gelagerten Umlenkspiegel ist in den Drehachsen von 3D-Laseranlagen mit interner Strahlführung erforderlich.

### 2.3.5. Strahlfokussierung

Das Werkzeug Laserstrahl zur Materialbearbeitung entsteht durch Fokussierung des Laserstrahls im Bearbeitungskopf. Linsen- und Spiegeloptiken fokussieren den Laserstrahl auf die Bearbeitungsstelle. Die Fokussierung eines Festkörperlaser erfolgt meist über Linsenoptiken. Beim CO<sub>2</sub>-Laser werden Linsenoptiken überwiegend zum Schneiden eingesetzt, Spiegeloptiken überwiegend zum Schweißen.

<sup>19</sup> Zwischen Strahlquelle und Werkstück / TRUMPF.AG

<sup>20</sup> Zwischen Strahlquelle und Werkstück / TRUMPF.AG

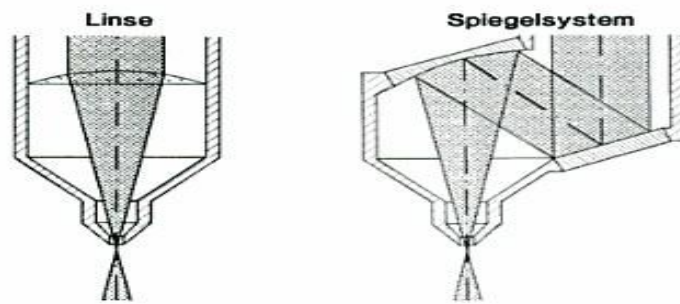


Abbildung 13. Schema der Strahlfokussierung mittels Linse-und Spiegeloptiken<sup>21</sup>

<sup>21</sup> Helmut Hügel, Thomas Graf, „Laser in der Fertigung“, Vieweg und Teubner Verlag, Auflage 2, 2008.

### 3. Funktionsbeschreibung und Auswahl des 2D-Ablenkungs-systems

#### 3.1. Vergleich mit vorgeschlagenen Lösungen

Durch unterschiedliche Gestaltung wird die Ablenkeinheit in zwei verschiedene Modul geteilt.z.B.: 2D-Laserstrahl-Ablenkungssystem, 3D-Laserstrahl-Subsystem.

##### 3.1.1 2D-Laserstrahl Ablenkeinheit.

Mit der 2D-Ablenkeinheit kann ein Laserstrahl in X-und Y-Richtungen abgelenkt werden. Dadurch ergibt sich ein zweidimensionaler Bereich, in welchem ein Laser an jede beliebige Position gelenkt werden kann. Dieser Bereich wird als "Markierfeld" bezeichnet und ist in Abbildung 14. dargestellt.

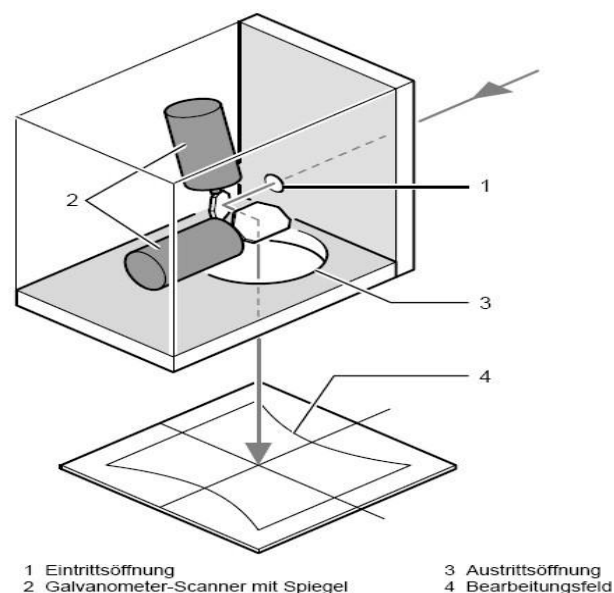


Abbildung 14. Funktionsprinzip 2D-Laserstrahl-Ablenkeinheit<sup>22</sup>

Die Ablenkung erfolgt durch zwei Spiegel, die von je einem

<sup>22</sup> Vgl, Firma RAYLASE.Produkt

Galvanometerscanner bewegt. Die Ablenkeinheit hat eine Eintrittsöffnung, in die der Laserstrahl eingekoppelt wird, und eine Austrittsöffnung, durch die der Laser nach der Ablenkung wieder aus der Ablenkeinheit austritt. In die Eintrittsöffnung dürfen nur geeignete Laser eingekoppelt werden.

### 3.1.2 3D-Laserstrahl-Subsystem

Das 3D-Laserstrahl-Subsystem besteht aus der Ablenkeinheit und dem Linear-Translator-Modul. Die Funktionsweise der Ablenkeinheit wird wie die obigen Abschnitten der 2D-Laserstrahl-Ablenkeinheit gezeigt (siehe 3.1.1. 2D-Laserstrahl-Ablenkeinheit). Durch das Linear-Translator-Modul bestimmt die Fokussiereigenschaft des 3D-Laserstrahl-Subsystems. Das Linear-Translator-Modul ist mit einer bzw. zwei Fokussierlinsen bestückt. Eine weitere, linear verschiebbare Linse ermöglicht die Anpassung der Fokuslänge. In der folgende Abbildung 15 wird das Funktionsprinzip der 3D-Laserstrahl-Ablenkeinheit gezeigt.

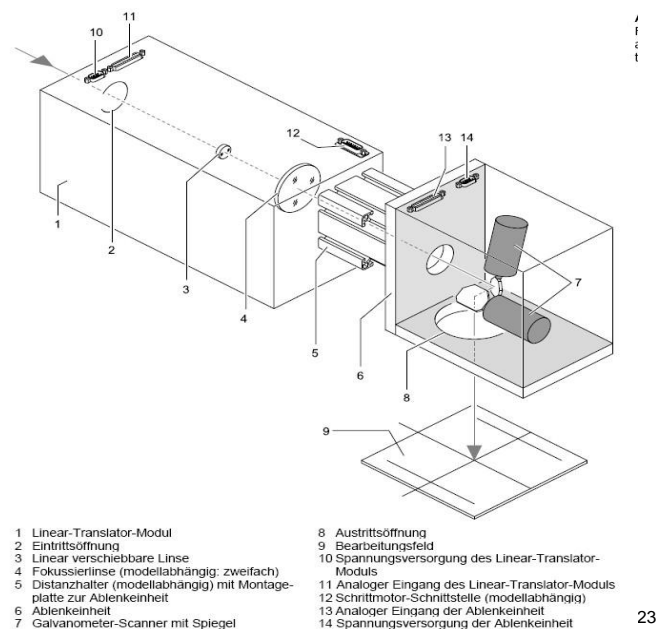


Abbildung 15. Funktionsprinzip des 3D-Laserstrahl-Subsystem

<sup>23</sup> Vgl. Firma RAYLASE.Produkt

### 3.2. F-Theta-Linse

Der Einsatz einer F-THETA-Linse wird in der Literatur wie folgt beschrieben:

Eine F-Theta-Linse (bzw. Ein F-Theta-Objektiv) nimmt einen Laserstrahl auf, der durch einen galvanischen Scanspiegel oder einen Polygonspiegel schräg geworden ist, und fokussiert ihn. Durch diese Anpassung wird eine konstante Scangeschwindigkeit gewährleistet.<sup>24</sup>

Das F-Theta-Objektiv ist speziell für den Einsatz mit 2-Achsen-Ablenk-Einheiten konzipiert. Es fokussiert den Laserstrahl in höchster Qualität an jeden beliebigen Ort im Bearbeitungsfeld. Gleichzeitig wird die tonnenförmige Verzerrung, welche sich durch 2-Achsen-Ablenkeinheiten zwangsläufig ergibt, optisch teilweise kompensiert. Die verbleibende Verzerrung muss durch die Ansteuerung der Ablenkeinheit kompensiert werden.<sup>25</sup>

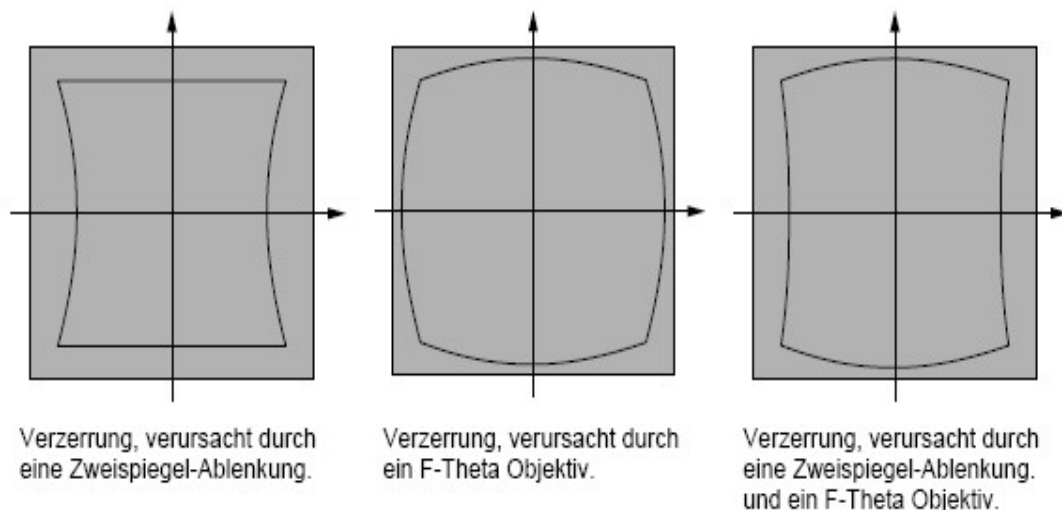


Abbildung 16. Feldverzerrung mit und ohne F-Theta-Objektiv<sup>26</sup>

<sup>24</sup> <http://www.lasermarker-center.de/tech/yougo/details.php>

<sup>25</sup> RAYLASE 2-Achsen-Subsysteme zur Ablenkung von Laserstrahlen

<sup>26</sup> Vgl, Firma RAYLASE-Produkt

Die F-Theta-Linse besteht aus Linse, Schutzglas, Vorschraubring und Schutzkappe. Die Zusammensetzung wird in der folgenden Abbildung 17 gezeigt

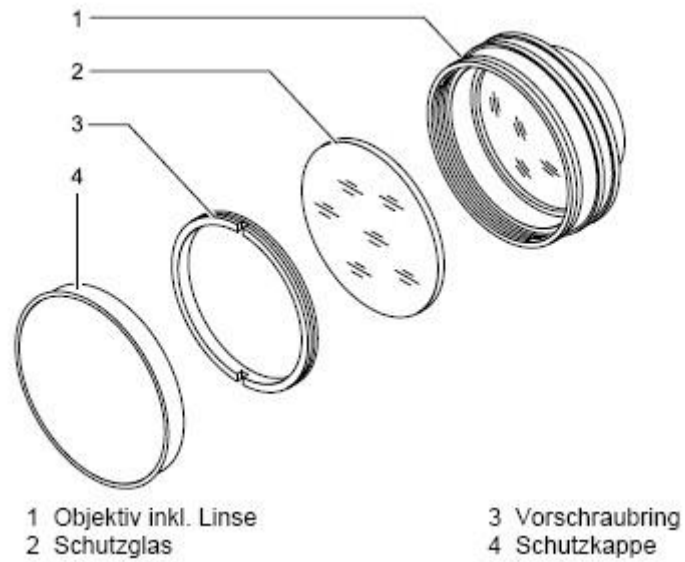


Abbildung 17. Die Gestaltung des F-Theta-Objektiv<sup>27</sup>

<sup>27</sup> Vgl, Firma RAYLASE.Produkt



## 4. Konstruktion und thermische Simulation für einen 2D-Scannerantrieb

### 4.1. Konstruktion des Gehäuses

Entwurf ein Gehäuse muss sein Gewicht, Größe, Wirtschaftlichkeit und Ästhetik betrachten. In diesem Abschnitt wird ein solches Gehäuse mit Solidworks konstruiert.

Das Gehäuse dieses Scannerantriebe besteht aus sechs verschiedenen Teilen, z.B.: aus einer Deckplatte, einer Grundplatte und vier Seitenplatten. Weil man die Größe, das Gewicht und die Wirtschaftlichkeit berücksichtigen muss, ist deshalb die Wahl der Materialien wichtig.

#### 4.1.1. Auswahl des Rohmaterials

Hier werden zwei repräsentative Materialien, Edelstahl und Aluminiumlegierung verglichen. Edelstahl ist eine Bezeichnung für legierte oder unlegierte Stähle mit besonderem Reinheitsgrad. Aluminiumlegierungen entstehen durch Legieren von Aluminium mit anderen Metallen, vorwiegend Mangan, Magnesium, Kupfer, Silicium, Nickel, Zink und Beryllium.

In dem folgenden Teil werden Vorteile und Nachteile der beiden Materialien in einer Tabelle gezeigt.

Material	Vorteile	Nachteile
Edelstahl	Beständigkeit gegen Umwelteinflüsse, pflegeleicht und unempfindlich gegen Beschädigungen	Schwierige und aufwändige Verarbeitung des Materials(teuer).
AL-Legierung	leicht, Gute Leitfähigkeit	Weniger korrosionsbeständig, und geringere Festigkeit

Tabelle 3. Vorteile und Nachteile der beiden Materialien

Edelstahl ist teurer als Aluminiumlegierung, aus der Sicht der Wirtschaft, im Sinne der Wirtschaftlichkeit erscheint eine Aluminiumlegierung besser geeignet. Hier wird Aluminiumlegierung als Material des Gehäuses, z.B.: AlMgSi1 gewählt. Diese Al-Legierung ist eine kalt- und warmhärzbare Konstruktionslegierung, gut polierbar und verformbar.

#### 4.1.2. Beschreibung der wichtigsten Platten

Wie zuvor erwähnt, ist dieses Gehäuse aus sechs Platten zusammengesetzt. In dem nächsten Teil wird nur der Fokus der Gestaltung der Grundplatte und drei wichtiger Seitenplatten analysiert, die anderen Platten werden durch Einzelzeichnung im Kapitel 5 dargestellt.

##### ➤ Ansicht der Grundplatte 1:

Wegen der Formbeständigkeit wird die Dicke der Grundplatte relativ dick gewählt. Das Rohmaterial der Aluminiumlegierung AlMgSi1 wird von der Firma GEMMEL METALLE mit der Bemaßung  $455 * 655 * 34\text{mm}^3$  vorgeschlagen.

Zunächst muss dieses Rohmaterial mit Fräsmaschinen bearbeitet werden. Länge und Breite werden um 5 mm abgefräst. Die Oberseite und die Unterseite werden um 2 mm abgefräst. Dann wird die Oberfläche wie die Zeichnung belegt auf 10 mm eingefräst. Schließlich werden mit Bohrmaschinen in Unterseite vier M12 Bohrungen und zwölf M4 Bohrungen bearbeitet. Mit 4 Innensechskantschrauben M12X50 werden die beiden Anschläge (erwähnt in einem späteren Kapitel) in die Grundplatte eingearbeitet. Mit zwölf Innensechskantschrauben M4x35 werden die anderen 4 Seitenplatten in der Grundplatte befestigt.

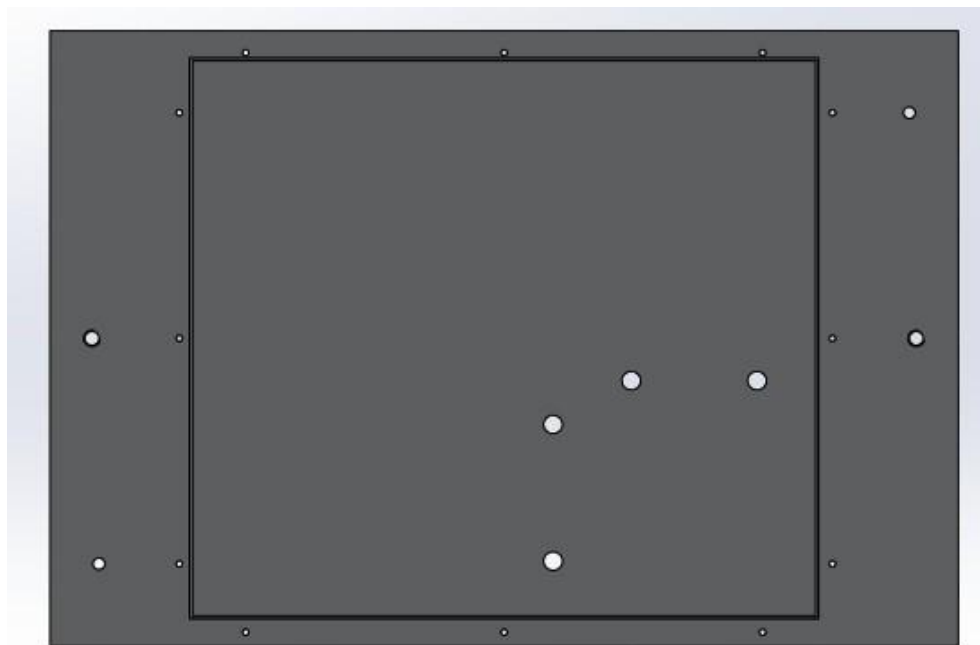


Abbildung 18. Grundplatte des Gehäuses

Wichtig ist, den Hochaperturscanner mit anderen Antrieben zu kombinieren. Dies wird durch zwei Zentrierstifte und zwei Rändelknöpfen gewährleistet. Die beiden Zentrierstiften und Rändelknöpfen werden von der Firma MISUMI ausgewählt. Der Preis und die Daten der Bemaßung werden in der Bestellvorlage gezeigt(Anhang).

➤ **Ansicht der Links-Seitenplatte 2:**

Das Rohmaterial dieser Seitenplatte 1. wird wie das der Grundplatte von der Firma GEMMEL METALLE mit der Bemaßung  $355 * 435 * 18mm^3$  ausgewählt. Zunächst muss dieses neu gekaufte Rohmaterial mit Fräsmaschinen bearbeitet werden. Länge und Breite werden um 5 mm abgefräst. Die Oberseite und die Unterseite werden um 1,5 mm abgefräst. Dann werden zwei R3/8 Gewindebohrung gemäß Zeichnung mit Bohrmaschinen in die Oberfläche gearbeitet. Die beiden Gewindebohrungen werden für die Wasserzuführung und Wasserabführung genutzt. Weil in dieser Seitenplatte wichtige elektronische Geräte installiert werden müssen, wird ein Rechteck  $25 * 150mm^2$  wie folgende Abbildung zeigt, eingefräst.

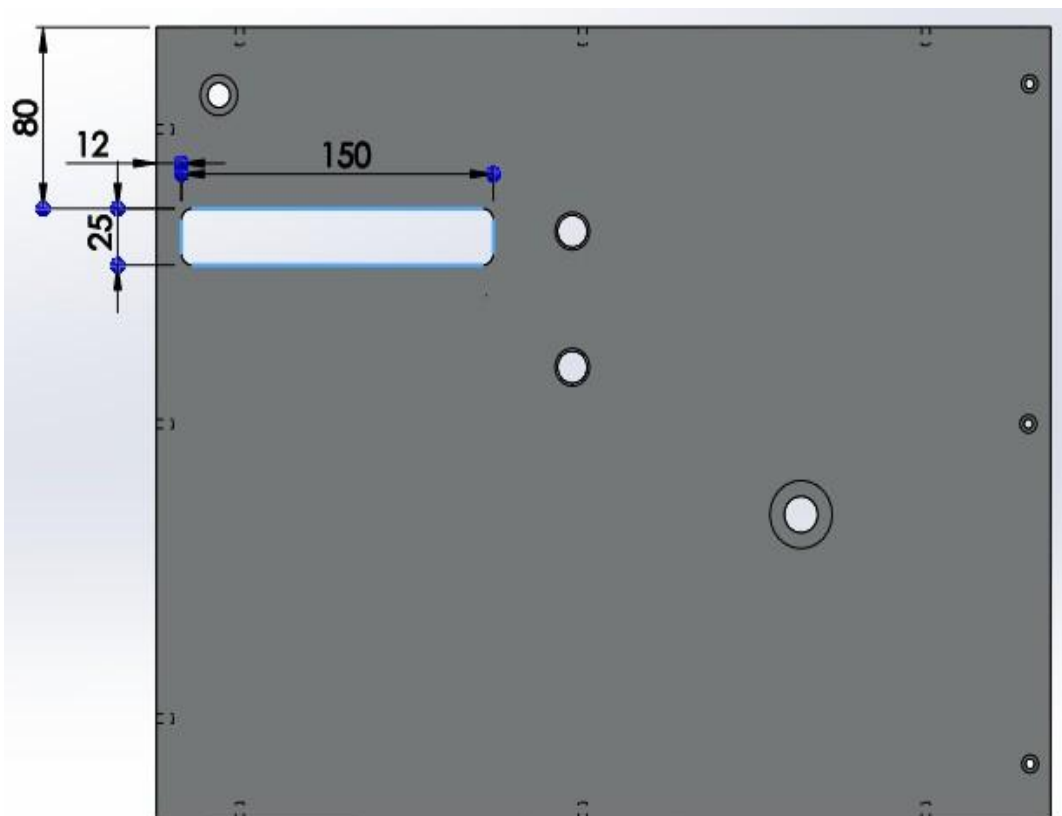


Abbildung 19. Linksseitenplatte des Gehäuses

Um die von den Maschinen bei der Arbeit erzeugten Temperaturen zu reduzieren, ist eine Belüftungseinrichtung vorgesehen. Mit Bohrmaschinen wird in die Oberfläche der Linksseitenplatte eine M16 Bohrung (Stirnsenkung) eingearbeitet(Luftzuführung).

Die elektronischen Bauteile werden über zwei Stecker (15 polig und 25 polig) mit dem Gehäuse verbunden(siene Abbildung 20).

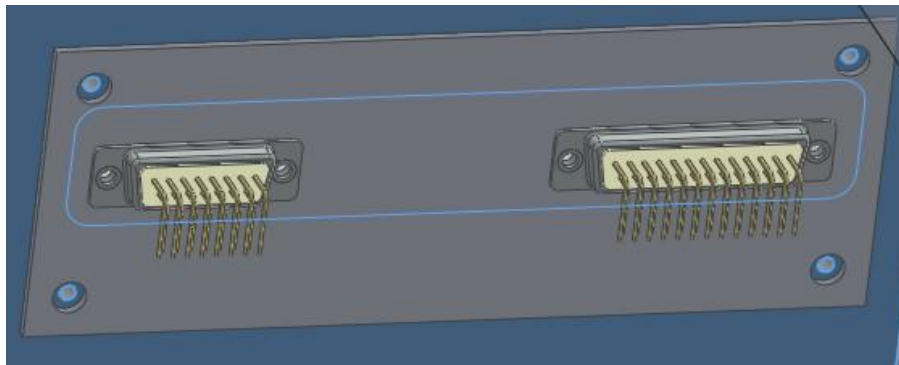


Abbildung 20. Stecker werden an dem Gehäuse vorgesehen.

In der folgenden Abbildung wird die entsprechende Platte 7 dargestellt.

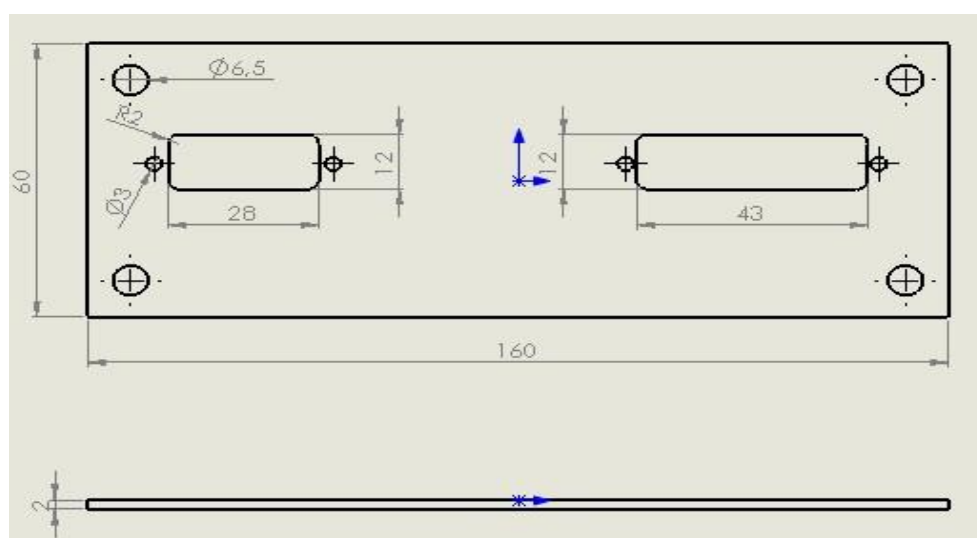


Abbildung 21. Die Darstellung der Platte 7

➤ **Ansicht der Rechts-Seitenplatte:**

Die Dimension des Rohmaterials wird mit  $23 * 355 * 455 \text{ mm}^3$  ausgewählt. Das Material und die Methode der anfänglichen Verarbeitung der Linksseitenplatte 1. und Rechtsseitenplatte 2. sind gleich, und soll hier nicht weiter beschrieben werden.

Die Lasersacnnervorrichtung wird durch diese Platte an eine Maschine angeschlossen. Mit Bohrmaschine wird ein 50mm Loch in die Oberfläche gebohrt, wegen des erforderlichen Laserstrahldurchgangs von der Apertur 50mm. Die Laservorrichtung wird über vier M5 Innersechskantschrauben mit dieser Rechtsseitenplatte 2. Verbunden. Der Abstand zwischen je zwei Löchern ist 100mm. Zur Verringerung der Wärme, die von der Maschine erzeugt, und dem Gehäuses zugeführt wird, hier werden zwei Anschläge konstruiert (wird Im nächsten Kapitel erklärt). Die beide Anschläge werden durch neun Schrauben M12x50 mit Rechtsseitenplatte 2. und Frontseitenplatte 3. verbunden. Auch die beiden Motorklemmen werden durch acht Schrauben M8x45 mit diesen beiden Seitenplatten verbunden.

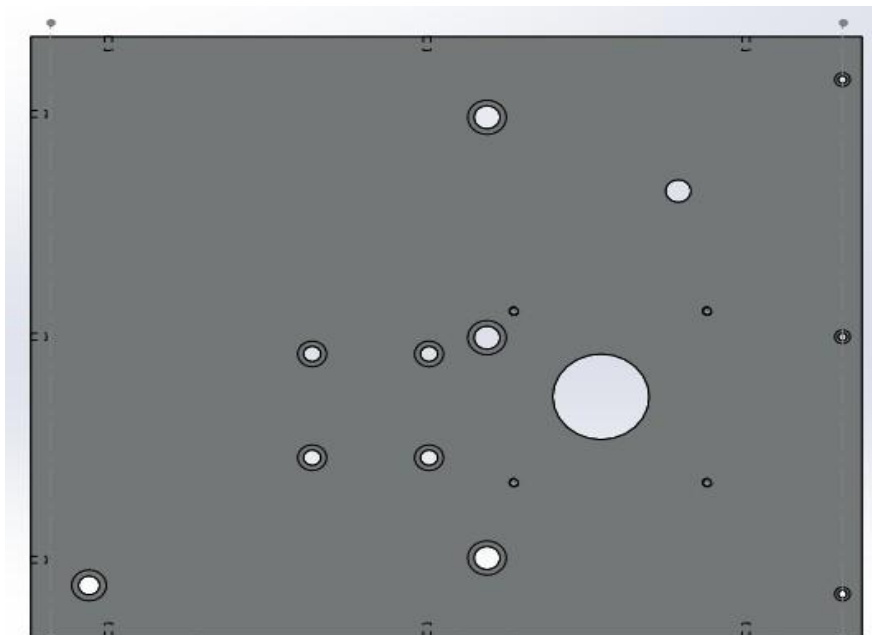


Abbildung 22. Rechtsseitenplatte des Gehäuses.

Um die Luft umzuwälzen, muss in dieser Platte eine Luftfiltervorrichtung installiert werden. Deshalb wird in der Rückseite der Platte eine G1/4 Gewindebohrung mit Bohrmaschinen gebohrt.

Um das Gehäuse dieses Hochaperturscanners zu befestigen, wird zwischen Seitenplatte 1. und 2. ein Distanzbolzen konstruiert. In folgender Abbildung wird dieser Distanzbolzen gezeigt.

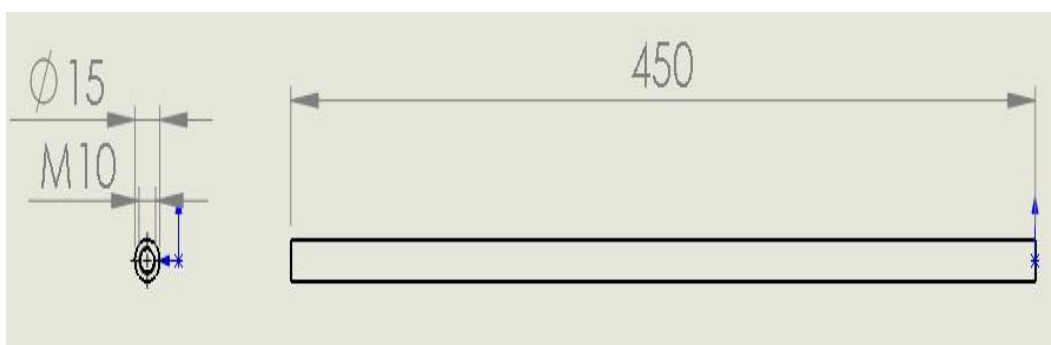


Abbildung 23. Distanzbolzen

### ➤ Frontseitenplatte 3.:

Die Dimension des Rohmaterials wird von  $23 * 355 * 435mm^3$  ausgewählt. Das Material und die Methode der anfängliche Verarbeitung die Frontseitenplatte 3. und Rechtsseitenplatte 2. sind gleich, und sollen nicht weiter beschrieben werden.

Diese Frontseitplatte unterscheidet sich von anderen nur in einem wichtigen Detail. Sie wird benötigt, um eine F-Theta-Optik zu installieren. Daher hier muss zuerst ein Flansch befestigt werden. In der folgenden Abbildung wird diese Platte gezeigt.

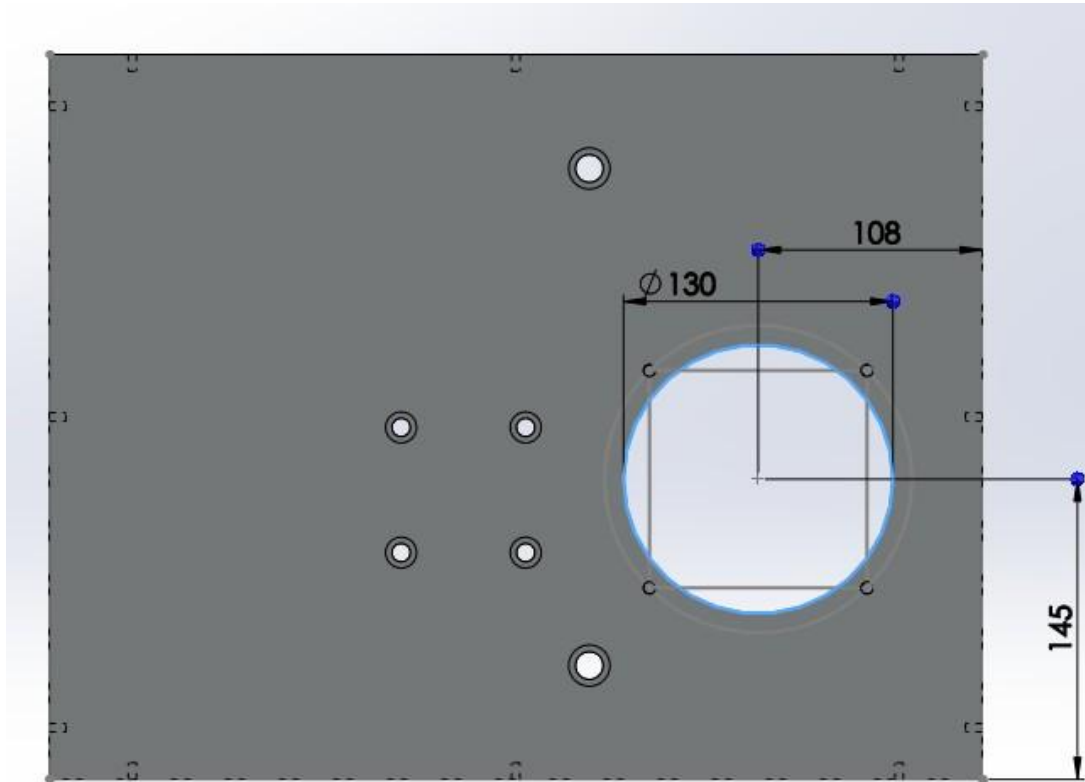


Abbildung 24. Frontseitenplatte 3. des Gehäuses

Weil die Länge  $L_1$  dem Drehspiegel 1. gleich 84,5mm ist, also, die Abstand  $L$  zwischen Spigel und Frontseitenplatte 3 ist gleich:  $L = b + a$ , und  $b = 97,58\text{mm}$ , also,

$$L = \frac{1}{2} L_1 \times \cos 45^\circ + 97,58 = \frac{1}{2} \times 84,5\text{mm} \times \cos 45^\circ + 97,58 = 127,45\text{mm}$$

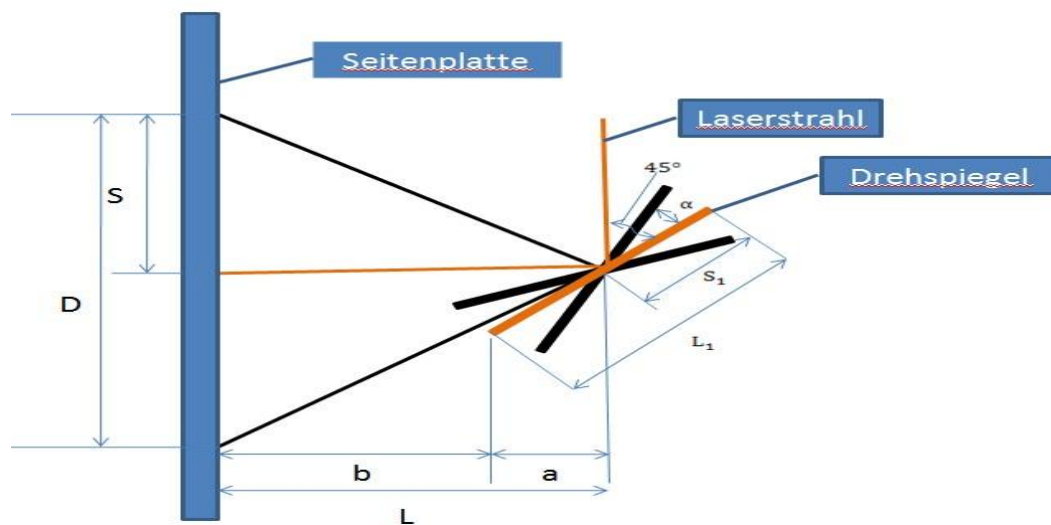


Abbildung 25. Beschreibung der Flanschgröße



Weil die Wirkungsgrad  $\alpha$  dem Spiegel gleich  $\pm 0,393 \text{ rad}$  ist, und  $1 \text{ rad} = 57,3^\circ$   
 Also,  $\alpha = \pm 0,393 \text{ rad} \times 57,3^\circ = \pm 22,5^\circ$  und Die Bewegungsabstand  $S$  gleich  
 $S = L \times \tan \alpha = 127,45 \text{ mm} \times \tan 22,5^\circ = 52,79 \text{ mm}$

Das bedeutet, der minimalen Durchmesser der Bohrung  $D_{\min} = 2 \times S = 2 \times 52,79 \text{ mm} \cong 105 \text{ mm}$ . Also wird der Durchmesser des Flansches als 130mm ausgewählt.

## 4.2. Konstruktion der Scannerbefestigung

### 4.2.1. Auswahl der Scannerantriebe

Weil der monomode Faserlaser eine Wellenlänge von 1070nm und Strahlleistungen bis 10kW besitzt, werden die beiden Scannerantriebe von der Firma RAZLASE ausgewählt. In folgende Tabelle sind die Spiegel wichtigsten Spezifikationen gezeigt.

Laser	Nd:YAG
Beschichtung	dielektrisch
Wellenlänge (nm)	1064
Max.Laserleistung,cw ( $W/cm^2$ )	500
Oberflächeneigenschaft(Scratch/Dig)	40/20

Table 4. Spiegelspezifikationen der Spiegeln

In folgende Abbildung ist die Zeichnung die beiden Scannerantriebe gezeigt.

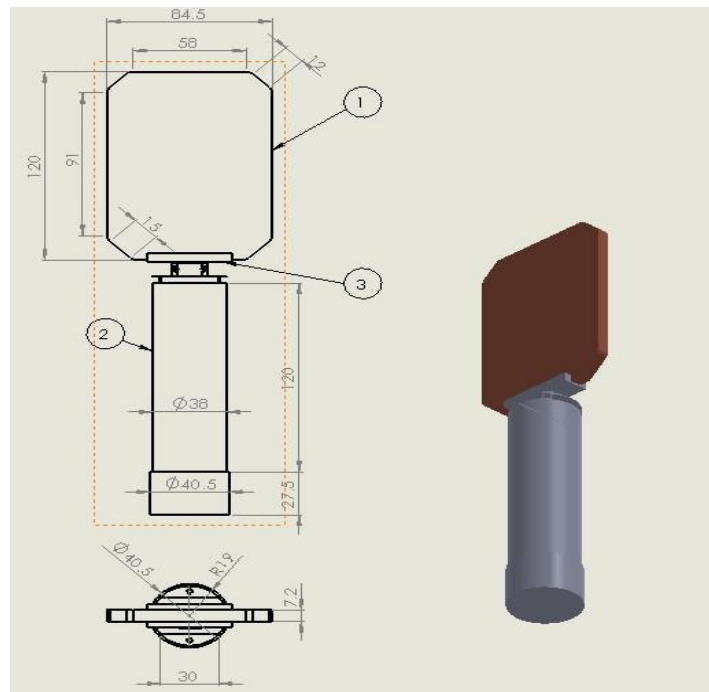


Abbildung 26. Scannerantrieb 1

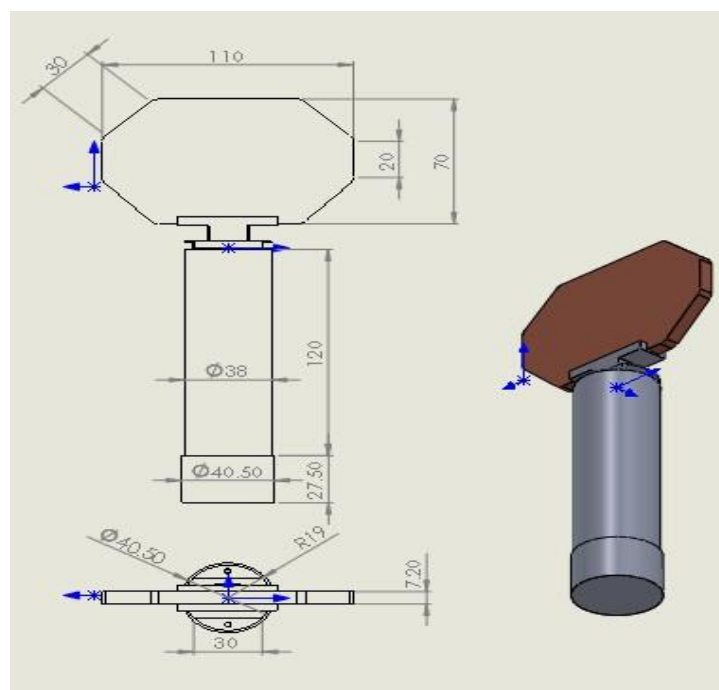


Abbildung 27. Scannerantrieb 2

#### 4.2.2. Befestigung der Scannerantriebe

Der Scannerantrieb 1 und Scannerantrieb 2 werden in gleicher Weise mit Seitenplatten befestigt. In diesem Teil wird nur die Befestigung dem Scannerantrieb 1 ausführlich beschrieben.

Zunächst wird eine Motorklammer benötigt, um den Scannerantrieb zu befestigen. Dieser Motorklammer, die hier auch Wasserkreislaufvorrichtung genannte wird, soll gewährleisten, dass der Motor sowohl fest, montiert ist als auch sicherzustellen soll, dass der Motor abkühlen kann. In folgender Abbildung wird eine solche Motorklammer gezeigt.

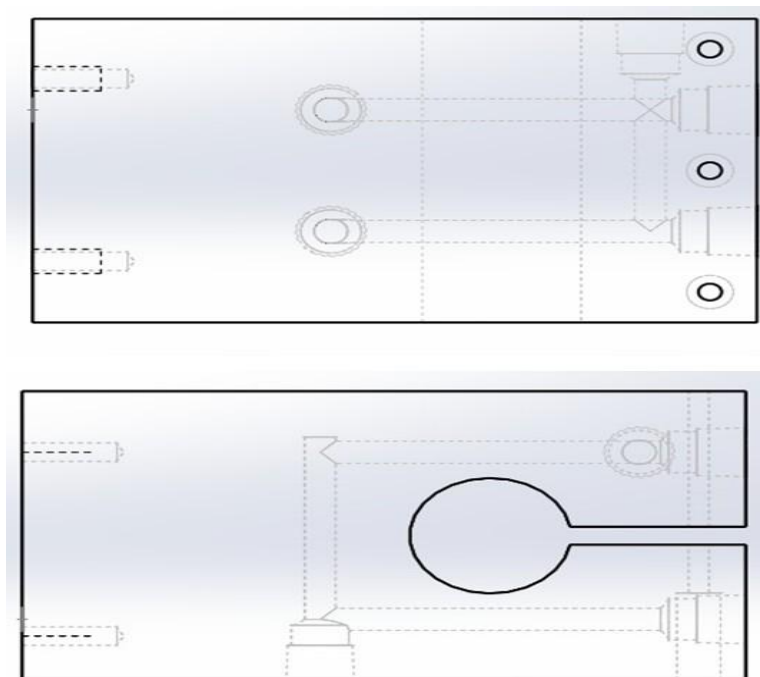


Abbildung 28. Motorklammer

Durch drei Sechskantschrauben wird der Scannerantrieb fest fixiert. An seiner Seite werden vier Gewindebohrungen gebohrt, um diese Motorklammer und

die Platte miteinander schließlich zu verbinden. Um die Temperatur des Gehäuses so weit wie möglich zu reduzieren, wird ein Anschlag vor der Motoreinheit installiert. Mittels dieses Anschlag wird eine Lüftdüse auch installiert. Die beiden Lüftdüsen werden von der Firma MISUMI ausgewählt (wie folgende Abbildung zeigt).



Abbildung 29. Lüftdüse mit Außengewinde

#### 4.3. Einfluss der Kühlung der Spiegel und Galvoantriebe

In dem vorangegangenen Artikel werden das Gehäuse-Design und die Installation vorgestellt. In diesem Kapitel werden wir Beschreibung des Zwecks dieser Konstruktion detailliert.

Wir wissen, dass jeder Spiegel dabei mit einem rotierenden Motor auf einer festgelegten Position verbunden ist. Mit der Drehung der Galvoantriebe und dem kontinuierlichen reflektierten Laserstrahlung werden viel Wärme in dem Gehäuse erzeugt. Wenn man nicht eine geeignete Maßnahme ergriff, mit der Temperatur weiter ansteigt, kann die Maschine normalerweise nicht laufen, und sogar zu schaden.

Um die Temperatur der Galvoantriebe so weit wie möglich innerhalb des Umfangs der Arbeit zu halten, wird mit der eine Wasserkreislaufvorrichtung installiert. Diese Wasserkreislaufvorrichtung kann wie die Galvoantriebe am Gehäuses befestigt werden.

Durch die kontinuierliche reflektierende Laserstrahlung die auf den Spiegel gerichtet ist, wird auch Wärme erzeugt.

Durch Luft wird der Temperatur der Oberfläche des Spiegels reduziert. An der Unterseite des Spiegels werden zwei Luftdüsen installiert.

In folgende Abbildung 30 ist der Überblick der Baugruppe "Installierung der Wasserkreislaufvorrichtung und Luftdüse mit dem Gehäuse" gezeigt.

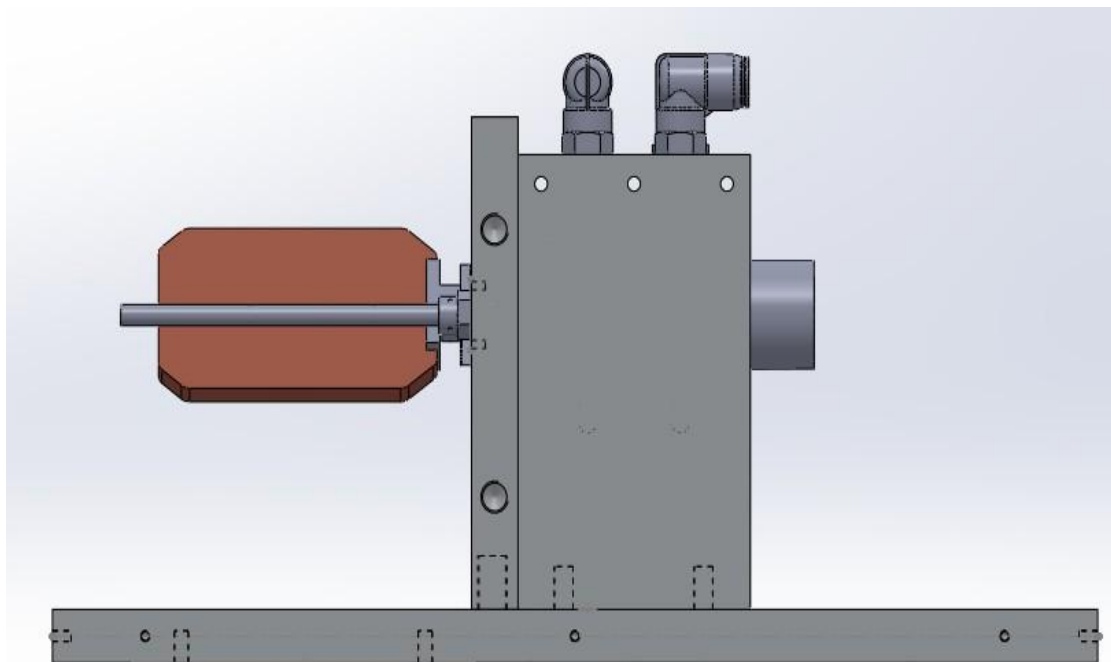


Abbildung 30 Installierung der Wasserkreislaufvorrichtung und Luftdüse mit dem Gehäuse

#### 4.4. Temperierung der Gehäuses

Da der Spiegel nicht 100% Laserstrahlung reflektiert, wird auch ein Teil der Laserstrahlung gegen die Wand des Gehäuses gerichtet. So wird die Wärmestrahlung und Wärmeleitung in der Wand des Gehäuses generiert.

In diesem Kapitel werden die Wärmeleitung und Wärmestrahlung diskutiert.

Bei der Wärmeleitung wird die Energie durch Stöße der Moleküle untereinander übertragen. Wärmeleitung setzt also örtlich Unterschiede in der Molekülenergie voraus, welche einem Temperaturgefälle entsprechen. Die Wärmeleitung führt zum Ausgleich dieses Gefälles, wenn keine Wärmequellen vorhanden sind.

Die durch Wärmeleitung übertragene Wärmeleistung  $P$  wird durch das Fouriersche Gesetz beschrieben, das für den vereinfachten Fall eines festen Körpers mit zwei parallelen Wandflächen lautet:

$$P = \frac{\lambda}{d} * A * (T_{W_1} - T_{W_2}) \quad ^{28}$$

Einheit für  $P$  ist Watt(w). Hier bei stehen die einzelnen Formelzeichen für folgende Größen:

- $T_{W_1}$ : die Temperatur der wärmeren Wandoberfläche
- $T_{W_2}$ : die Temperatur der kälteren Wandoberfläche
- $A$ : die Fläche, durch die die Wärme strömt
- $\lambda$ : die Wärmeleitfähigkeit, eine meist temperaturabhängige Stoffgröße
- $d$ : die Dicke des Körpers.

In folgende Abbildung 31 ist die Wirkung des Fourierschen Gesetzes<sup>28</sup> gezeigt.

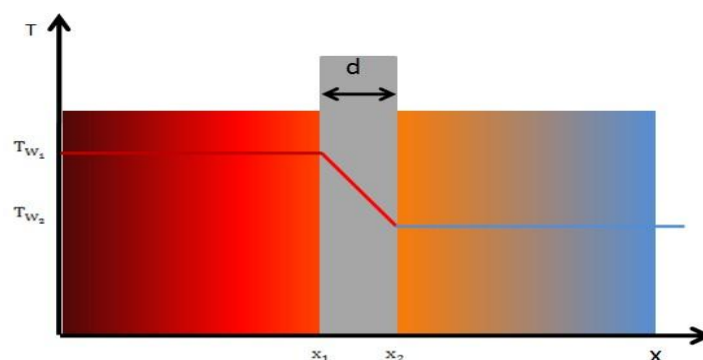


Abbildung 31. Wirkung des Fourierschen Gesetzes

Wärmestrahlung ist elektromagnetische Strahlung, die ein Körper aufgrund

<sup>28</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Wärmeleitung>

seiner Temperatur aussendet. Bei den meisten Festkörpern und Flüssigkeiten ist das Spektrum dieser Strahlung kontinuierlich und hat einen charakteristischen Verlauf, der durch das Plancksche Strahlungsgesetz beschrieben wird.

Der von einem Körper abgestrahlte Wärmestrahleleistung  $P$  kann für einen Körper über das Stefan-Boltzmann-Gesetz wie folgt berechnet werden:

$$P = \epsilon * \delta * A * T^4$$
<sup>29</sup>

Die Temperatur beeinflusst die Leistung  $P$  in der 4. Potenz. Mit Hilfe der Methode der Finiten Elemente (FEM) werden Temperaturverteilungen in einem Element überwiegend mit der thermischen Leitfähigkeit  $k_{xx}, k_{yy}$  berechnet:

$$T_V = \rho * c_p * \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} * \left( k_{xx} * \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} * k_{yy} * \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \vec{q}$$

Wobei,

- $P$ : Wärmestrahleleistung bzw Wärmestrom
- $\epsilon$ : Emissionsgrad, die Werte liegen zwischen 0 und 1
- $\delta$ : Stefan-Boltzmann-Konstante  $= 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$
- $A$ : Oberfläche des abstrahlenden Körpers
- $T$ : Temperatur des abstrahlenden Körpers
- $\rho$ : Dichte
- $c_p$ : spezifische Wärme
- $k_{xx}, k_{yy}$ : thermische Leitfähigkeit
- $\vec{q}$ : Wärmeerzeugungstake

<sup>29</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Wärmestrahlung>

## 5. Der konstruktive Aufbau im Rahmen eines 3D-Modells

In diesem Kapitel wird das 3D-Modell des Hochaperturscanners mit der Software Solidworks gezeigt. Mit der Software Solidworks kann man ein dreidimensionales Modell erzeugen. Durch diese auch kann man dann in einem virtuellen Modell simulieren und testen. Weiterhin lassen zwei-oder dreidimensionale Zeichnungen sich sehr einfach daraus ableiten.

In folgender Abbildung werden die Komponenten des 3D-Modells gezeigt(siehe Stücklist im Anhang), die Einzelteilzeichnungen der Komponenten und die Zusammenstellungszeichnung werden im Anhang gegeben.

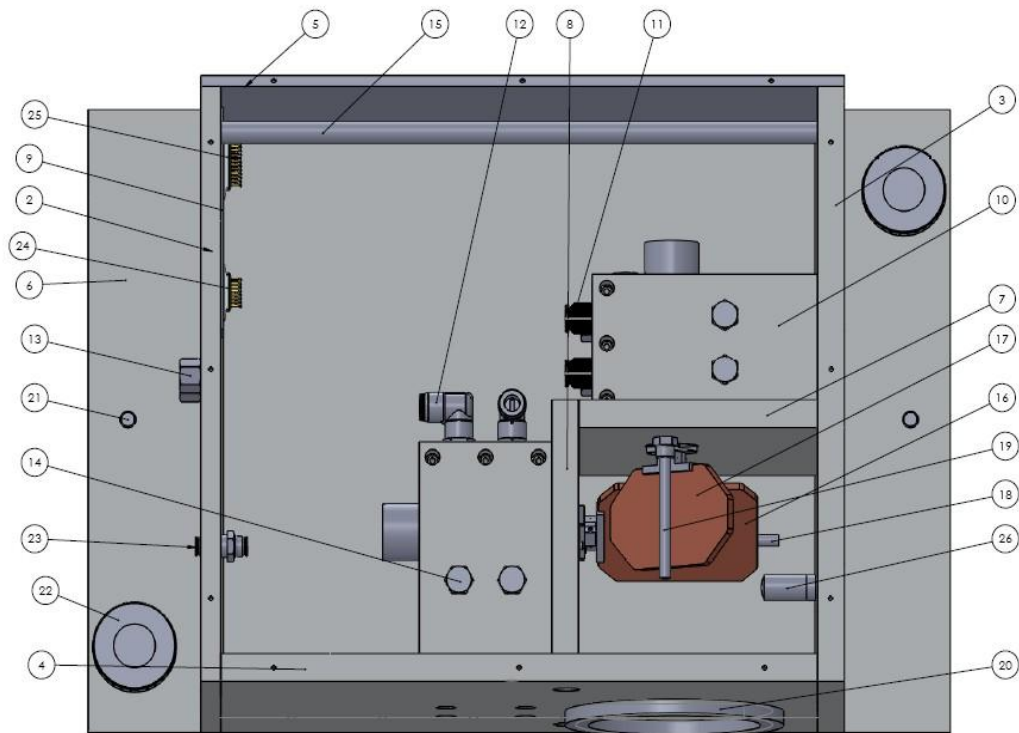


Abbildung 32. Komponenten des 3D-Modells



## 6. Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde ein Hochaperturscanner konstruiert. Dabei soll der Hochaperturscanner möglichst einfach, robust und Kosten günstig aufgebaut sein.

In dem Kapitel 2 wurden die wichtigen Theorien über den Laser und Spiegel erklärt. Diese Theorien wurden aus dem Internet und bedeutenden Büchern entnommen (siehe Literaturverzeichnis).

Zunächst werden das Rohmaterial des Gehäuses und die Scannerantriebe ausgewählt. Dann wird ein Hochaperturscanner mit Software entworfen. Wegen des Einflusses der Wärme auf den Antrieb muss eine Kühlvorrichtung eingebunden werden.

Im Anhang werden die technischen Zeichnungen, Stücklisten und Bestelllisten aufgeführt.

## Literaturverzeichnis

/1/ TRADOWSKY, KLAUS : „Laser“, Vogel Verlag, Auflage 4, 2009.

/2/ G.Litfin, :“Technische Optik in der Praxis“, Springer Verlag, Auflage 3, 1997.

/3/ Hanskar, Treiber, :“Lasertechnik“, Frech Verlag, Auflage 1, 1982.

/4/ J.Eichler, H.J.Eichler, :“Laser Bauformen, Strahlführung, Anwendungen“, Springer Vorlag, Auflage 7, 2010.

/5/ Erhardt, Heine, :“Prommersberger Laser in der Materialbearbeitung“, Vogel Vorlag, Auflage 1, 1993.

/6/ Helmut Hügel, Thomas Graf, :“Laser in der Fertigung“, Vieweg und Teubner Verlag, Auflage 2, 2008.

## Internetquellen:

[http://mata.gia.rwth-aachen.de/Vortraege/Benno\\_Willemsen/Laser/Skript.pdf](http://mata.gia.rwth-aachen.de/Vortraege/Benno_Willemsen/Laser/Skript.pdf)

[www.iap.uni-bonn.de/dunkel/LaserAufbau.gif](http://www.iap.uni-bonn.de/dunkel/LaserAufbau.gif)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Linsenarten.svg>

[http://hausnawi.at/bad/spiegel/html/ebener\\_sp.html](http://hausnawi.at/bad/spiegel/html/ebener_sp.html)

[http://hausnawi.at/bad/spiegel/html/konvexer\\_sp.html](http://hausnawi.at/bad/spiegel/html/konvexer_sp.html)

[http://hausnawi.at/bad/spiegel/html/konkaver\\_sp.html](http://hausnawi.at/bad/spiegel/html/konkaver_sp.html)

<http://www.lasermarker-center.de/tech/yougo/details.php>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Wärmeleitung>

<http://de.wikipedia.org/wiki/Wärmestrahlung>

## Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder dem Inhalt nach aus fremden Arbeiten entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

---

Ort, Datum

---

eigenhändige Unterschrift

Anlagen  
(PDF-Daten)